



COMMUNICATION MATERIALS APPLIED TO THE CONSTRUCTION INDUSTRY: CONCEPTS AND FIRST RESULTS



THE MCBIM PROJECT

W. Derigent, D. Dragomirescu

AM2I











PRÉSENTATION DU PROJET

C Fiche d'identité du projet :

- C <u>Titre du projet</u>: **McBIM** <u>Matière Communicante au service du **BIM** (Building Information Modelling);</u>
- C Projet finance par l'ANR,
- C <u>Durée</u>: 52mois
- C <u>Démarrage scientifique</u>: 01/01/2018

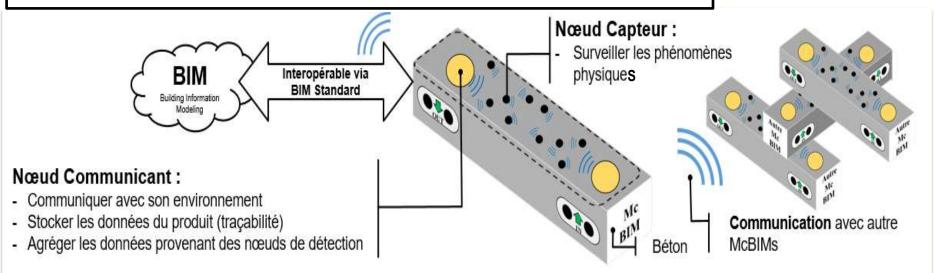






PROJET McBIM: CONSTITUTION

ARCHITECTURE DE COLLECTE DE DONNEES EFFICIENTE EN ENERGIE ET EVOLUTIVE



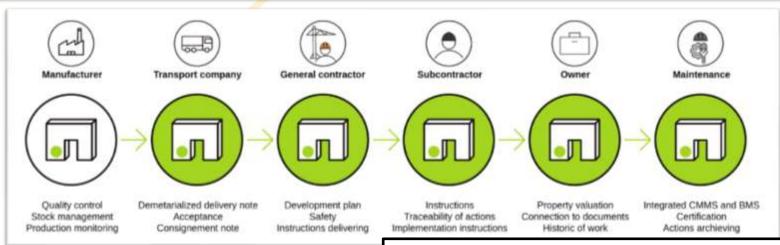




PLATE-FORME D'INTEGRATION DE SERVICES INNOVANTS

ISET



PROJET McBIM: OBJECTIFS (1/2)

C Développement d'un béton communicant ;

- C <u>Réseau de nœuds</u>: Elément préfabriqué équipé de nœuds de capteurs de différents types (LAAS):
 - C Nœuds communicants : communiquent avec son environnement ou d'autres bétons communicants, capables de stocker des données, rechargés par batterie ou par réseau électrique;
 - C **Nœuds de mesure :** émetteurs seulement. Capteurs de température, d'humidité, ... pour la surveillance. Batterie alimentée par récupération d'énergie RF.
- C <u>Infrastucture de communication</u>: Béton communicant transmet et stocke des données, peut alerter son environnement (CRAN)
 - C Un ensemble de béton communicant constitue une seule et même structure, capable de stocker/traiter/partager des données externes (reçues de l'extérieur) ou internes (générées par les nœuds sensitifs);
- C <u>Interopérabilité</u>: Les données gérées ou générées seront compatibles aux standards du BIM pour un échange de données facilité (LE2I).





PROJET McBIM: OBJECTIFS (2/2)

- C Démonstration de la faisabilité et de l'utilité du concept sur deux phases du cycle de vie d'un préfabriqué béton ;
 - C Aide au pilotage du chantier, en phase de construction;
 - C Surveillance des structures béton, une fois montées, en phase d'exploitation.
- C Développement de plusieurs prototypes de test.







PROJECT McBIM: VERROUS SCIENTIFIQUES

C Réseau de noeuds :

- C Communication compatible avec le matériau béton (eau, métal);
- C Récupération d'énergie par RF pour les nœuds sensitifs.

C Infrastructure de communication :

- Protocoles de collecte de données minimisant l'énergie des nœuds de capteurs;
- C Architectures de gestion des données collectées ou générées par le réseau de bétons communicants.

C Interopérabilité des données :

- C Intégration des données capteurs dans la norme IFC;
- C Sécurisation des échanges de données internes et externes.

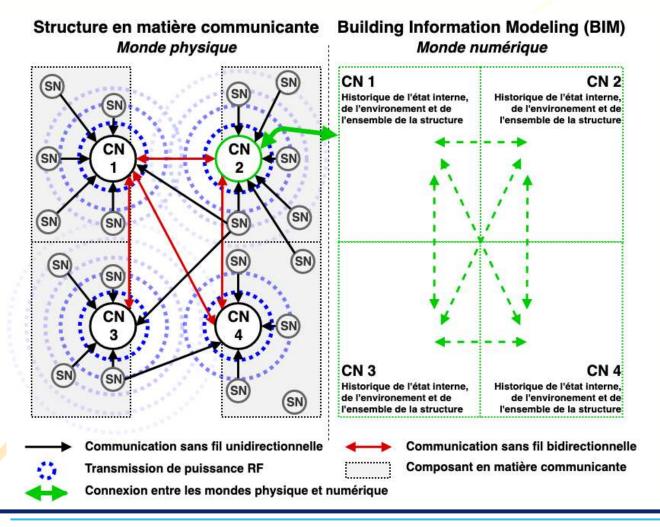






RÉSEAU DE CAPTEURS SANS-FIL DÉVELOPPÉ

C Architecture du réseau maillé de capteurs sans-fil

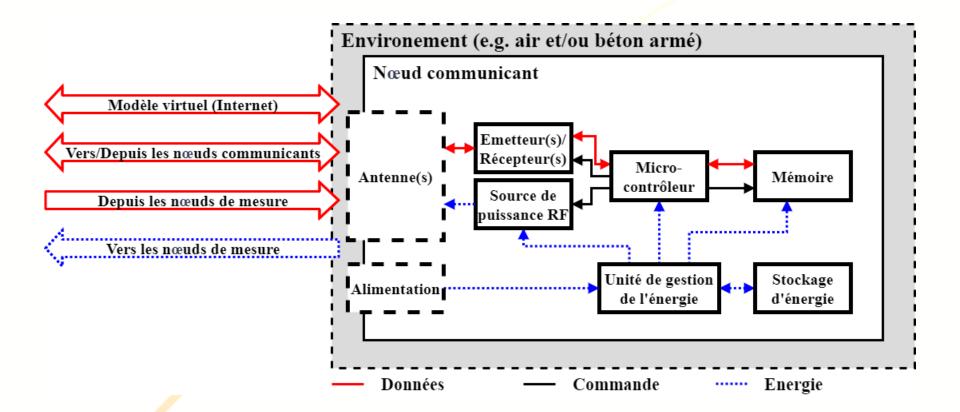




ISET

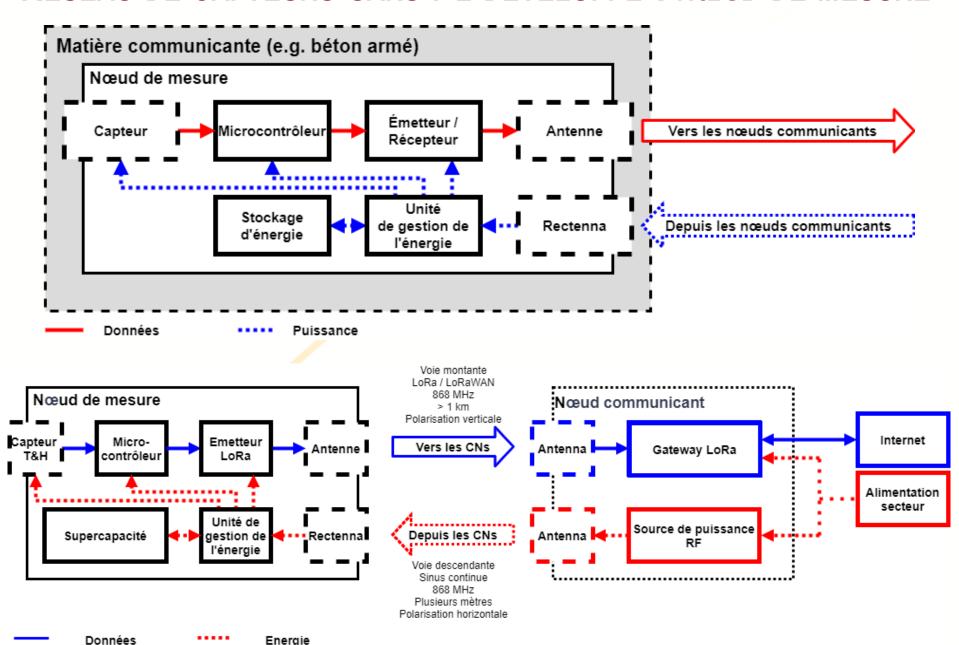


RÉSEAU DE CAPTEURS SANS-FIL DÉVELOPPÉ : NŒUDS COMMUNICANTS





RÉSEAU DE CAPTEURS SANS-FIL DÉVELOPPÉ : NŒUD DE MESURE





PROTOTYPE DES NŒUDS COMMUNICANTS

C Implémentation

- C Gateway LoRa
 - Raspberry Pi 3+ (micro-ordinateur)
 - IMST iC880A (interface LoRa)
 - Alimenter en 5 V (transformateur, USB, PoE)

C Source de puissance RF

- Fournissant +33 dBm (2 W) PIRE avec antenne
 - Alimenter en 12 V (transformateur)
 - Reconfigurable (fréquence (868 MHz et 915 MHz) et puissance (+30 dBm à -18 dBm sans antenne))
 - Compact (5 cm x 10 cm sans antenne et transformateur)









PROTOTYPE DES NŒUDS COMMUNICANTS

C Résultats expérimentaux

C Consommation maximale : < 8,3 W (Réception de données et transmission de puissance en simultané)

C Fonctionnalités :

- transfert de l'énergie nécessaire aux nœuds de mesure
- récupération, traitement et stockage des données transmises par les nœuds de mesure
- interface avec l'Internet (WiFi, Ethernet)

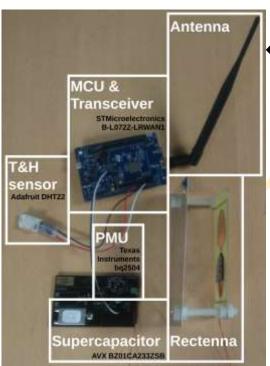




PROTOTYPE DES NŒUDS DE MESURE

C Implémentation

- C Mesure (température et humidité)
- **C** Traitement
- C Transmission LoRa et LoRaWAN
- C Récupération et gestion de l'énergie



←Prototype éclaté



Prototypes intégrés améliorés ->





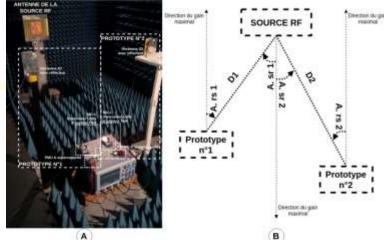


CONFIGURATIONS DE TEST



Octobre 2018





Antenne de transmission de puissance

Générateur de puissance RF

Oscillosc ope

Janvier 2019

Janvier 2020

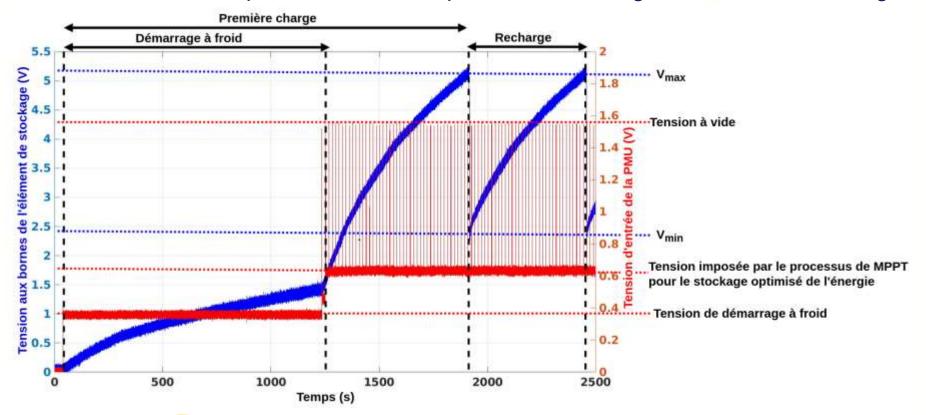
ISET





RÉSULTATS POUR LE NŒUD DE MESURE

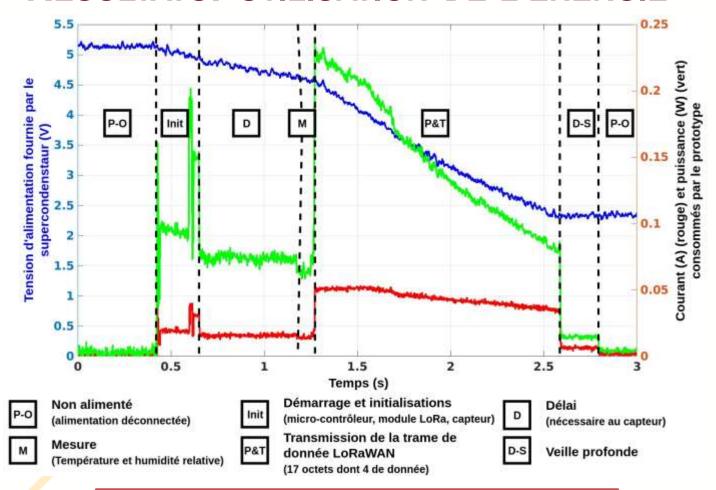
C Résultats expérimentaux : récupération de l'énergie, utilisation de l'énergie



- Temps de recharge réglage (fonction de la source RF) qq minutes à 1 heure;
- Distance de recharge jusqu'à 5m dans l'air / 12 cm dans notre prototype béton;
- Distance d'émission : plusieurs mètres dans le béton (> distance de recharge), plusieurs kilomètres dans l'air.



RÉSULTATS: UTILISATION DE L'ÉNERGIE



- Temps d'émission : 2 secondes

- Puissance maximale en émission : 0.23W

- Puissance en veille : qq μW

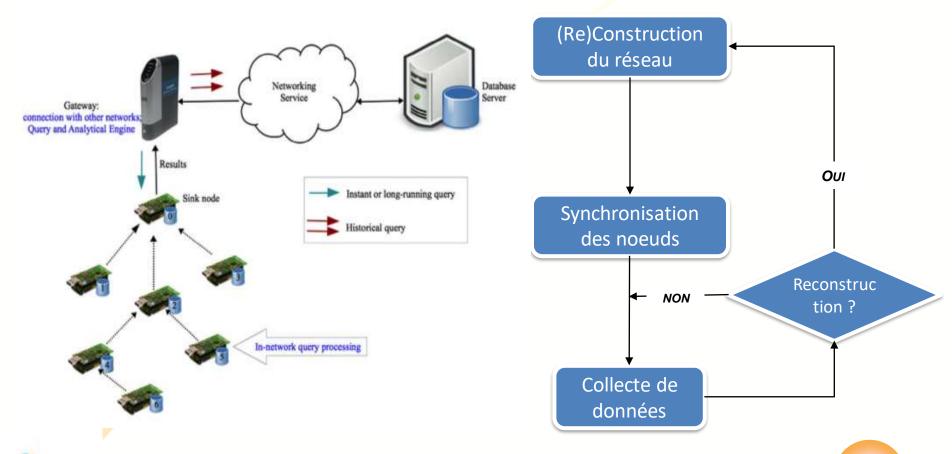




COLLECTE DE DONNÉES ÉCONOME EN ÉNERGIE

Réseau de capteurs sans fil?

Différentes phases :

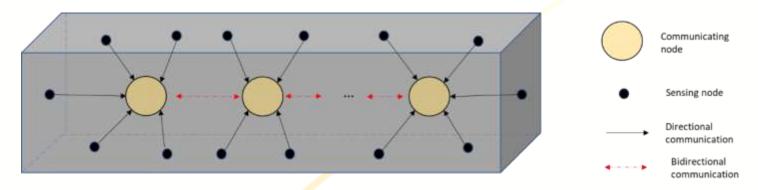




ISET



COLLECTE DE DONNÉES DANS LE BÉTON COMMUNICANT



Stratégie sélectionnée pour le réseau de bétons communicants :

- C Routage: Approche basée sur la chaîne
- Synchronisation: Interaction émetteur-récepteur
- C In-network data Processing: agrégation de données

Reconstruction:

Modèle de prévision de l'état énergétique du réseau/noeud



CONCEPTION DE L'EXPÉRIENCE







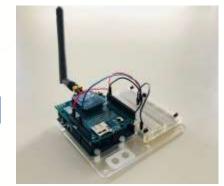












C Objectif de l'expérimentation :

Mesurer la consommation énergétique de la stratégie élaborée.

C Le matériel utilisé :

Un PC, 4 cartes Arduino équipées avec les modules Xbee

C Hypothèses:

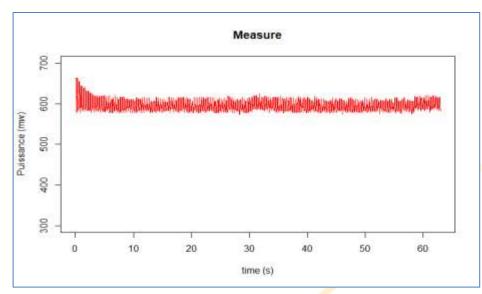
- Programmes similaires : chaque nœud a le même code
- Récolte périodique : chaque nœud envoie ses données avec la même fréquence
- Mode veille : chaque nœud passe en mode veille après ses activités
- Mode d'alimentation : le nœud-puit (A) est alimenté par le PC, les autres par leurs batteries

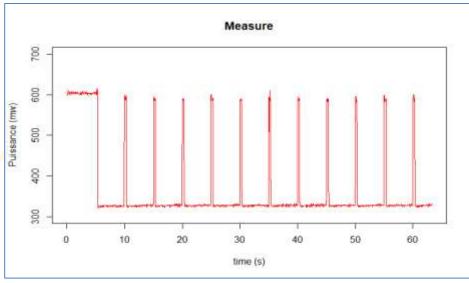




EXPÉRIENCE PRÉLIMINAIRE







MODE ACTIF

MODE VEILLE

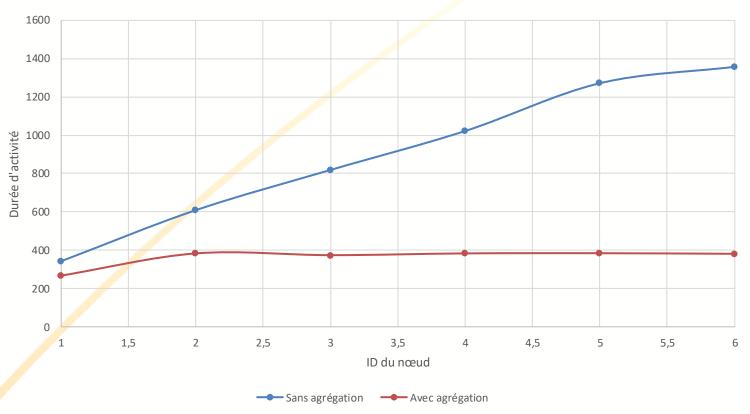
Mode	Temps d'activité (s)	Temps de veille (s)	Duty cycle	Consommation (W)
Actif	65	0	100%	36,885
Veille	10,5	54,5	18.3%	27,743 (Gain: <mark>62%</mark> sur la consommation radio)



ETUDE D'UNE CHAÎNE A 6 NOEUDS

C Comparaison entre le mode sans agrégation et avec agrégation









AC BIM

MODÉLE DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE DU RÉSEAU

C La consommation d'énergie du réseau peut être calculée :

$$E_{total} = \sum_{i=1}^{n} E_i = \sum_{i=1}^{n} (D_{i_active} * P_{active} + D_{i_sleep} * P_{sleep})$$

$$E_{total} = n * T * P_{sleep} + \sum_{i=1}^{n} D_{i_active} * (P_{active} - P_{sleep})$$

C Les durées totales en mode actif (sans agrégation) :

$$\sum_{i=1}^{n} D_{i_active} = k_1 + (n-2) * k_2 + k_3 + n * (n-1) * (\alpha + \beta)$$

où k1, k2, k3 sont des valeurs constantes...

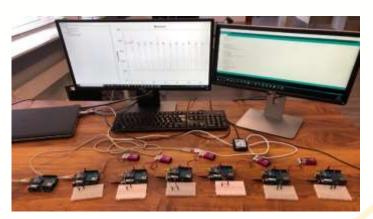
C Les durées totales en mode actif (avec agrégation) :

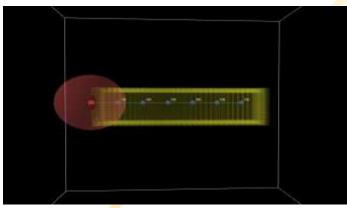
$$\sum_{i=1}^{n} D_{i_active} = 2\alpha + 2\beta + (n-1) * k_2$$

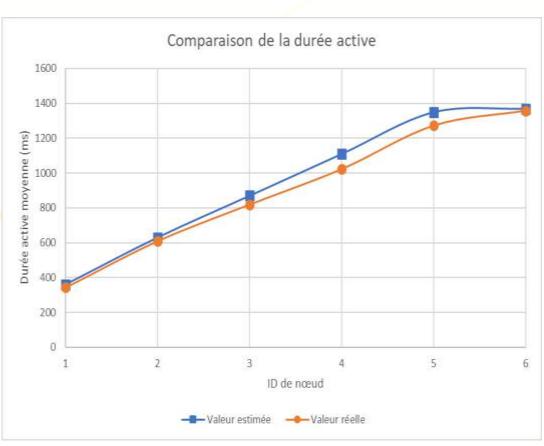




VALIDATION DU MODÈLE SUR UNE CHAÎNE À 6 NŒUDS







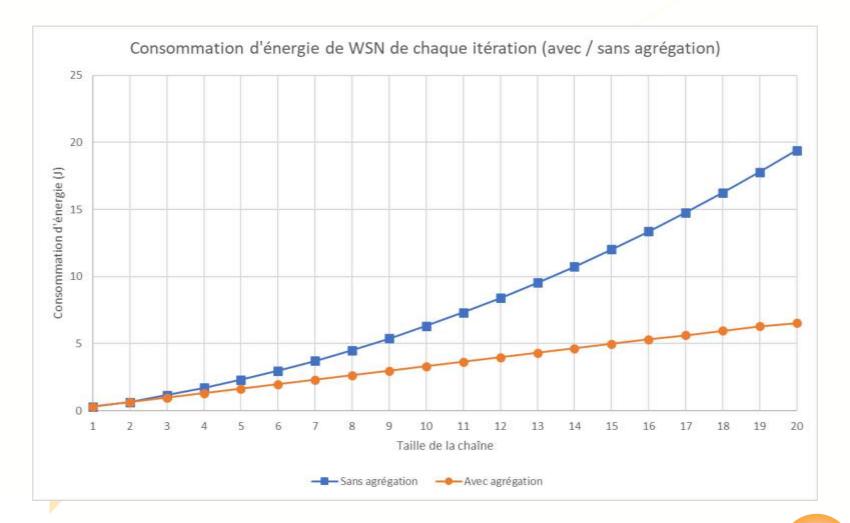
Les écarts entre les valeur estimée et mesurée sont respectivement de 4,63%, 3,22%, 5,82%, 7,86%, 5,79%, 0,93%. Par conséquent, l'écart moyen pour l'ensemble du WSN est de 4,71%.





ESTIMATION DU GAIN ÉNERGÉTIQUE POUR N NOEUDS

AVEC ET SANS AGRÉGATION



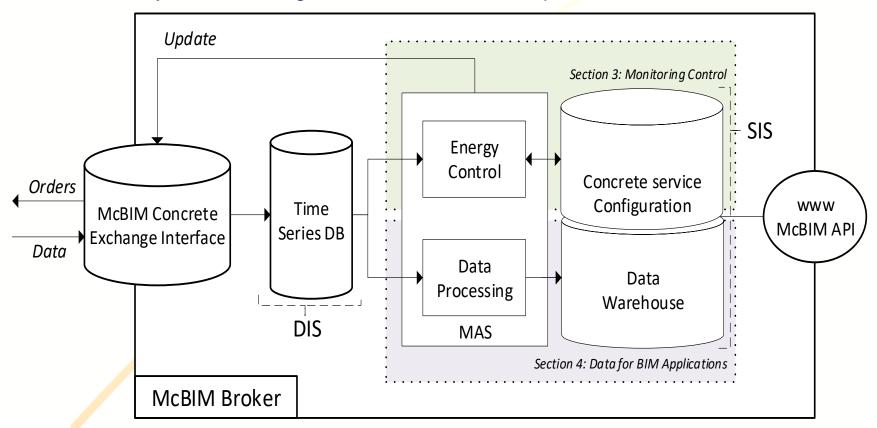




GESTION DE DONNÉES: PREMIERS PAS

C Architecture de gestion de données :

- C Premières réflexions sur le système d'information McBIM:
 - C Système multi-agents en lien avec une ou plusieurs bases de données.



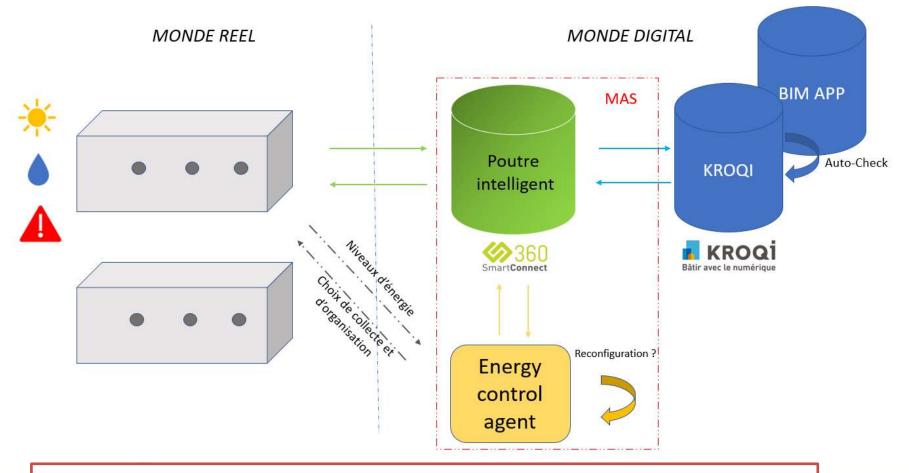








CONCLUSIONS/PERSPECTIVES



- Recherche de cas d'études et/ou d'applications ;
- Compatibilité technique avec des capteurs du commerce ;
 - Logiciels métiers SHM d'intérêt.



COMMUNICATION MATERIALS APPLIED TO THE CONSTRUCTION INDUSTRY: CONCEPTS AND FIRST RESULTS

W. Derigent, D. Dragomirescu

<u>Contact:</u> william.derigent@univ-lorraine.fr



ISET